**18.11.2021 Учебная группа: 2ТО**

**Преподаватель Черномордик Анна Евгеньевна**

**ОП.02 Электротехника и электроника**

Тема 3.2 Явление электромагнитной индукции

**Лекция № 20**

**Цель занятия:** Усвоить основные понятия по изучаемой теме.

**Задачи занятия:** уметь применять полученные знания для решения ситуационные задач.

**Задание студентам:**

1.Записать в тетрадь и самостоятельно проработать лекцию несколько раз.

2. По учебнику И.А. Данилов, П.М. Иванов. Общая электротехника с основами электроники, Высшая школа, 2005 **§ 3.13-3.17 стр. 104-115** (скачать в интернете учебник, если не найдете, напишите мне - я Вам пришлю по e-mail)

**3. Ответить на контрольные вопросы.**

4. Фотографию конспекта и выполненное домашнее задание прислать на электронный адрес **kabinet1218@gmail.com** в срок **до 08.00 19.11.2021г.**

План:

1. Вихревые токи

2. Самоиндукция. Индуктивность. ЭДС самоиндукции

3. ЭДС взаимной индукции

4. Энергия магнитного поля

Литература:

Основные источники:

1. И.А. Данилов, П.М. Иванов. Общая электротехника с основами электроники, Высшая школа, 1989.

2. Немцов М.В. Электротехника и электроника: учебник/ М.В. Немцов, М.Л. Немцова, – М.: Издательство Академия, 2013. – 480 с.

3. Т.Ф. Березкина Задачник по общей электротехнике с основами электроники - М.: Высшая школа, 1983.

Дополнительные источники:

1. Кацман, М.М. Сборник задач по электрическим машинам: учебное пособие/ М.М. Кацман. – М.: ИЦ Академия, 2013. – 160 с.

2. Прошин, В. М. Электротехника для электротехнических профессий. Рабочая тетрадь: учебное пособие / В. М. Прошин. – Москва : Academia, 2014. – 456 c.

3. И.А. Данилов, П.М. Иванов. Общая электротехника с основами электроники, Высшая школа, 2005 - 378 с.

4. Электротехника, электроника и схемотехника : учебник и практикум для СПО /С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. — М. : Издательство Юрайт, 2015. — 399 с.

**Вопрос 1. Вихревые токи**

Токи возникающие в результате изменения магнитных полей, вследствие электромагнитной индукции называются , или , если вызваны **индукционными вихревыми** вихревым полем, или **токами Фуко** по фамилии французского инженера занимавшегося их исследованием.

Индукционные токи возникают не только в изолированных проводниках и обмотках, но и в сплошных металлических массах генераторов, электромагнитных аппаратов и механизмов, которые подвергаются действию изменяющихся магнитных полей. Эти токи, вызывают дополнительные затраты энергии, нагревают части приборов, портят изоляцию. Сравним индукционные токи, возникающие при изменении одного и того же магнитного потока в разных металлических предметах из одного и того же металла: в проволочном витке, кольце, диски и болванке, результаты сравнения оформим в виде таблицы.

Таблица 1 – Вихревые токи в разных проводящих предметах

****

Вихревые токи, оказывающие вредное влияние, устраняют путем специальной сборки сердечников и применения для их изготовления магнитомягких сортов стали. Сердечники электромагнитных устройств (трансформаторов, электродвигателей, дросселей, и т. д.) собирают из тонких листов электротехнической стали, изолированных друг от друга пропитанной маслом бумагой, окалиной или изолирующим лаком. Однако полностью избежать нагревания, обусловленного вихревыми токами, невозможно, и в тех случаях, когда нагревание может достичь высоких степеней, прибегают к искусственному охлаждению приборов. Например, сердечники мощных трансформаторов помещают в бак с маслом, которое хорошо отводит тепло.

Потери энергии от вихревых токов зависят не только от свойств материала, в котором они возникают, и толщины стальных пластин, из которых собран магнитопровод аппарата или машины, но также от магнитной индукции и скорости ее изменения.

В некоторых случаях вихревые токи оказывают положительное влияние.

Так, например, на использовании вихревых токов основана работа индукционных электродвигателей, индукционных электропечей для плавки металлов, индукционных электроизмерительных приборов (счетчики электроэнергии), сушка древесины, закалка металлов и др.

Нужно сказать, что существуют магнитные изоляторы - **ферриты**.

**Ферриты** - ферромагнетики, не проводящие электрического тока.

При перемагничивании в ферритах не возникают вихревые токи. В результате потери энергии на выделение теплоты сводятся к минимуму. Это особенно важно для радиоэлектронной аппаратуры, работающей в области очень высоких частот (миллионы колебаний в секунду). Здесь применение сердечников катушек из отдельных пластин уже не дает нужного эффекта, так как в каждой пластине возникают большие токи Фуко. Поэтому из ферритов делают сердечники высокочастотных трансформаторов, магнитные антенны транзисторов и др.

Ферритовые сердечники изготовляют из смеси порошков исходных веществ. Смесь прессуется и подвергается термической обработке.

Существенно, кроме того, что при очень быстром изменении магнитного поля в обычном ферромагнетике возникают индукционные токи, магнитное поле которых препятствует изменению магнитного потока в сердечнике катушки. Из-за этого поток магнитной индукции практически не меняется и сердечник не перемагничивается.

В ферритах вихревые токи не создаются, и поэтому их можно очень быстро перемагничивать. Это свойство ферритов используется в электронных устройствах, работающих на сверхвысоких частотах.

**Вопрос 2. Самоиндукция. Индуктивность. ЭДС самоиндукции**

**Самоиндукция** является важным частным случаем электромагнитной индукции, когда изменяющийся магнитный поток, вызывающий ЭДС индукции, создается током в самом контуре.

Если ток в рассматриваемом контуре по каким-то причинам изменяется, то изменяется и магнитное поле этого тока, а, следовательно, и собственный магнитный поток, пронизывающий контур. В контуре возникает ЭДС. Так как нет посторонних магнитов или магнитных полей, а ЭДС возникает при изменении собственного поля катушки, то эта ЭДС называется ЭДС самоиндукции, которая согласно правилу Ленца препятствует изменению тока в контуре. Из этого следует: если ток увеличивается, то ЭДС направлена навстречу току, а в случае, если ток уменьшается, то возникающая ЭДС – сонаправлена с током.

Собственный магнитный поток Φ, пронизывающий контур или катушку с током,

пропорционален силе тока *I*: ***Ф = L\*I***

Коэффициент пропорциональности ***L***в этой формуле называется **коэффициентом самоиндукции** или **индуктивностью** катушки.

***ЭДС самоиндукции ЕL***возникающая в катушке с неизменным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна:



То есть: ЭДС самоиндукции прямо пропорциональна индуктивности катушки и скорости изменения силы тока в ней.

Единица индуктивности измеряется в ***генри*** (Гн). Индуктивность катушки равна 1 Гн, если при силе постоянного тока в 1 А, собственный магнитный поток катушки равен 1 Вб: 1 Гн = 1 Вб / 1 А или 1генри — это индуктивность такой цепи, в которой при равномерном изменении тока на 1 ампер в секунду индуктируется ЭДС самоиндукции в 1 вольт. 1 Генри – очень большая индуктивность. В практических расчетах индуктивность часто выражается в долях генри: миллигенри (мГн) и микрогенри (мкГн);

Величина индуктивности, в общем случае, зависит от длины и формы катушки, числа витков, наличия сердечника и его формы.

Таким образом индуктивность катушки зависит от ее геометрических размеров и способа намотки катушки. Чем больше диаметр, длина намотки и число витков катушки, тем больше ее индуктивность.

Если катушка наматывается плотно виток к витку, то индуктивность ее будет больше по сравнению с катушкой, намотанной неплотно, с промежутками между витками.

Когда требуется намотать катушку по заданным размерам и нет провода нужного диаметра, то чтобы получить необходимую индуктивность необходимо:

– при намотке ее более толстым проводом нужно несколько увеличить число витков катушки,

– при намотке ее более тонким проводом нужно несколько уменьшить число витков катушки.

Рассчитаем индуктивность длинного соленоида (соленоид - длинная катушка с одним рядом витков), имеющего ***N***витков, площадь сечения ***S***и длину ***l.*** Магнитное поле соленоида определяется формулой:



Полученный результат не учитывает краевых эффектов, поэтому он приближенно справедлив только для достаточно длинных катушек. Если соленоид заполнен веществом с магнитной проницаемостью ***μ,*** то при заданном токе ***I***индукция магнитного поля возрастает по модулю в ***μ*** раз, поэтому индуктивность катушки с сердечником также увеличивается в ***μ*** раз:



Все приведенные выше соображения справедливы при намотке катушек без ферритовых сердечников.

Оценочный расчет однослойных цилиндрических катушек (рисунок) производится по формуле



где L — индуктивность катушки, мкГн; D — диаметр катушки, см; *l*— длина намотки катушки, см; *n* — число витков катушки.

При расчете катушки могут встретиться два случая:

а) по заданным геометрическим размерам необходимо определить индуктивность катушки;

б) при известной индуктивности определить число витков и диаметр провода катушки.

Следует заметить, что по приведенным выше формулам рекомендуется рассчитывать такие катушки, у которых длина намотки ***l*** равна или больше половины диаметра.

Если же длина намотки меньше половины диаметра **D/2** , то более точные результаты можно получить по формулам



Самоиндукцию можно наблюдать, например, при размыкании и замыкании цепи тока. В момент размыкания вследствие исчезновения магнитного потока в цепи индуктируется ЭДС самоиндукции, которая стремится препятствовать исчезновению тока.

В момент замыкания магнитный поток, создаваемый проходящим по цепи током, увеличивается, а появляющаяся ЭДС самоиндукции препятствует нарастанию тока. Таким образом, при замыкании цепи вследствие противодействия ЭДС самоиндукции ток не может мгновенно достигнуть полной величины, а при размыкании также вследствие противодействия ЭДС самоиндукции исчезновение тока в цепи наступает не мгновенно, а постепенно.

В некоторых случаях, например в измерительных приборах и при изготовлении реостатов, необходимо устранить самоиндукцию. Чтобы устранить самоиндукцию, проволоку, применяемую для изготовления реостата, сгибают вдвое и в таком виде навивают на каркас рисунок.

При этом магнитное действие одного витка уничтожается действием соседнего и результирующий магнитный поток, образуемый током, протекающим по обмотке, будет равен нулю.

***Безындукционная обмотка называется, бифилярной***.

**!** Если требуется получить катушку без индуктивности, можно применить бифилярную намотку, которая выполняется проводом, сложенным вдвое.

Магнитный поток и индуктивность бифилярно намотанной катушки равны нулю.

**Вопрос 3. ЭДС взаимной индукции**

**ЭДС взаимной индукции**

**Взаимная индукция,** как и явление самоиндукции, и также является одним из важных частных случаев электромагнитной индукции. Но в этом случае изменяющийся магнитный поток, вызывающий ЭДС индукции в рассматриваемой катушке, создается ни посторонним магнитом, ни током в самой катушке, а током катушки располагающейся по соседству.

Если ток в рядом стоящей катушке изменяется по каким-то причинам, то изменяется и магнитное поле этого тока. И если наша «подконтрольная катушка» находится в этом поле, то поток пронизывающий её – изменяется, а это ведет к возникновению ЭДС (рис.) Это явление называется **взаимоиндукцией** , ЭДС – ЭДС взаимной индукции.

ЭДС взаимной индукции, согласно правилу Ленца, препятствует изменению магнитного потока, в котором она «купается». Безусловно величина ЭДС взаимной индукции пропорциональна скорости изменения тока в первой катушке.

Взаимоиндукция наблюдается не только при изменении тока, но и в моменты его возникновения и исчезновения.

Аналогичная картина будет наблюдаться и в замкнутых контурах и одиночных витках. Возникновение ЭДС взаимоиндукции объясняется тем, что контур замкнутого проводника пронизывается изменяющимся магнитным потоком, который создается током, проходящим по соседнему проводнику.

Допустим, имеется два контура **1** и **2 (**рисунок**),** состоящие каждый из одного замкнутого витка. При прохождении тока *I1* по контуру **1** от какого-либо источника (не показанного на рисунке) возбуждается магнитный поток **Ф1**; который частично пронизывает и контур 2. Очевидно, что величины как всего магнитного потока **Ф1,** так и его части **Ф2** пронизывающей контур 2 , пропорциональны току *I1*. Таким образом, соотношение между потоком **Ф2** и током **I1** можно представить в виде следующего равенства: **Ф2 = М \* I1**

где **М** — некоторый коэффициент, зависящий от геометрических размеров контуров и их взаимного расположения. *Этот коэффициент называется* ***взаимоиндуктивность****.*

Взаимоиндуктивность, так же, как и индуктивность, измеряется в генри, миллигенри и микрогенри. Взаимоиндуктивностью в один генри обладают два контура в том случае, если в одном из них возникает ЭДС взаимоиндукции в один вольт при равномерном изменении тока на один ампер в одну секунду в другом контуре.

Величина взаимной индукции **М** между двумя контурами может быть выражена через индуктивности этих контуров. Если индуктивность одной цепи **L1**, а индуктивность второй **L2** и магнитный поток, возникающий в контуре первой цепи (влияющей), полностью пронизывает контур второй цепи (подвергнутой влиянию), то

Явление взаимоиндукции широко используется в электротехнике. Н этом принципе строятся и работают трансформаторы. Но в ряде случаев явление взаимоиндукции оказывает вредное влияние. Например, при сближении проводов высоковольтных цепей с линиями связи взаимоиндукция может быть не только источником помех, но и опасных перенапряжений в линиях связи.

**Вопрос 4. Энергия магнитного поля**

Магнитное поле обладает энергией. Подобно тому, как в заряженном конденсаторе имеется запас электрической энергии, в катушке, по виткам которой протекает ток, имеется запас магнитной энергии. Если включить электрическую лампу параллельно катушке с большой индуктивностью в электрическую цепь постоянного тока, то при размыкании ключа наблюдается кратковременная вспышка лампы (рисунок). Ток в цепи возникает под действием ЭДС самоиндукции. Источником энергии, выделяющейся при этом в электрической цепи, является магнитное поле катушки.

При размыкании ключа *K* лампа ярко вспыхивает.

Из закона сохранения энергии следует, что вся энергия, запасенная в катушке, выделится. Ток в цепи равен:



Формулу для определения энергии катушки можно получить графическим методом, изобразив на графике зависимость магнитного потока Φ(*I*) от тока *I* (рисунок).

Полное количество выделившейся энергии, равное первоначальному запасу энергии магнитного поля, определяется площадью изображенного на рисунке треугольника.

Таким образом, энергия ***Wм*** магнитного поля катушки с индуктивностью ***L***, создаваемого током ***I***, равна

Применим полученное выражение для энергии катушки к длинному соленоиду с магнитным сердечником. Используя приведенные выше формулы для коэффициента самоиндукции ***Lμ*** соленоида и для магнитного поля ***B***, создаваемого током ***I***, можно получить:



где *V* – объем соленоида. Это выражение показывает, что магнитная энергия локализована не в витках катушки, по которым протекает ток, а рассредоточена по всему объему, в котором создано магнитное поле.

Физическая величина равная энергии магнитного поля в единице объема, называется **объемной плотностью магнитной энергии** Дж. Максвелл показал, что выражение *.* для объемной плотности магнитной энергии, выведенное здесь для случая длинного соленоида, справедливо для любых магнитных полей.

**Контрольные вопросы:**

1.Что такое самоиндукция?

2.Что такое индуктивность?

3. Как определить ЭДС самоиндукции?

4. От чего зависит индуктивность катушки?

5. Как определить индуктивность?

6. Что такое бифилярная катушка и зачем она нужна?

7. Что такое вихревые токи?

8. Где они возникают?

9. Какие последствия от вихревых токов?

10. Как борются с вихревыми токами?

11. Что такое ферриты?

12. Что такое потокосцепление?

13. Что такое взаимная индукция?

1. В каких устройствах применяется взаимоиндукция?

15. Чему равна энергия поля катушки?

16. Чем отличается встречное и обратное включение катушек?